Stellungnahme zu einigen Auffassungen über das Flußlängsprofil

Von Gustav Stratil-Sauer

Mit 3 Textabbildungen

(Vorgelegt in der Sitzung am 9. November 1950)

Das Flußlängsprofil[1] ist die lineare Darstellung der Gefällsverhältnisse eines Flußlaufes; es läßt sich aber auch rein ziffernmäßig in Reihen von Promillezahlen ausdrücken. Als Grundlage dient entweder das Sohlen- oder das Spiegelgefälle des Wassers. Bei kleinen Flußläufen oder kleinen Maßstäben kann zwischen beiden freilich kaum unterschieden werden. Je nachdem, ob sich das Gefälle talabwärts versteilt oder verflacht, erhalten wir konvexe oder konkave Profile, wobei strichweise natürlich auch ein geradliniger Verlauf auftreten kann.

Erscheint auch das Gefälle eines Flusses, also das Längsprofil, dem Betrachter, sofern er nicht Wasserfälle oder Schnellen vor sich hat, weniger augenfällig als das Querprofil, so bildet es doch die wichtigste genetische Linie der Landschaft. Wiederholt wurde darauf hingewiesen, daß es die Denudationsbasis und damit die Ausgangslinie für die Formung der Oberfläche schlechthin darstellt. Bekanntlich hängt der morphologische Charakter der Landschaft meist in erster Linie von der Entwicklung des Längsprofils ab.

[1] Am 25. November 1949 habe ich in einer Fachsitzung der Geographischen Gesellschaft in Wien in gedrängter Form die Grundzüge meiner Studien über die Erosion des fließenden Wassers entwickelt. Aus diesem Gedankenkreis konnte ich bisher veröffentlichen:
a) Baumeister Fluß. — Die Furche, Nr. 19/1950.
b) Einige Vorbemerkungen zur Theorie der Erosion. — Geologie und Bauwesen Bd. 18, Heft 1, 1950.
c) Die Transporterleichterung. — Geogr. Ges. Wien 1951, Sölch-Festschrift.
d) Die Lesedecke. Geologie und Bauwesen Bd. 18, Heft 3, 1951.

Man müßte nun annehmen, daß die gesetzmäßige Entwicklung einer solchen Linie, welche die Voraussetzung der Landschaftsausbildung und damit auch der meisten morphologischen Untersuchungen sein muß, völlig geklärt sei. Daß dem nicht so ist, beweist schon die Tatsache, daß mehr als ein Dutzend Theorien sich um die Erklärung der Entstehung und Entwicklung von Flußlängsprofilen mühen, selbst wenn wir von den schon überlebten Deutungen absehen. Diese überraschende Vielfalt läßt sich daraus verstehen, daß auf das Längsprofil zahlreiche Kräfte einwirken und vor allem erst die Hauptfragen zur Erosion, zur Sedimentation und zum Transport gelöst sein müssen, ehe man mit Erfolg an eine Deutung des Flußprofils gehen kann. Dies aber ist bisher noch nicht gelungen. Die Morphologie befindet sich hier in einer ähnlichen Lage wie viele andere Wissenschaften, welche die gegebenen Erscheinungen systematisieren und verschiedentlich auch motivieren, ohne jedoch ihre primären Voraussetzungen klären zu können. Gerade die komplexen Vorgänge aber, die zur Ausbildung eines Flußlängsprofils führen, bilden den besten Prüfstein für die Richtigkeit der einzelnen Erosionstheorien. Mit letzteren will sich unsere Studie beschäftigen; denn ehe wir eine eigene Auffassung geben, müssen wir zu den bestehenden Stellung nehmen.

Von den Theorien sind meines Erachtens jene mit geringem Aufwand zu widerlegen, die das Flußlängsprofil in die generalisierende Form einer bestimmten geometrischen Kurve pressen wollen.

A. Penck (19 und 20) hat sich bereits mit verschiedenen Autoren auseinandergesetzt, die im Längsprofil eines Flusses bald eine parabolische oder binominale, bald eine zykloide oder logarithmische Kurve sehen wollten. Gewiß sind alle normalen Längsprofile dadurch ausgezeichnet, daß sie unter gleichen Voraussetzungen ihr Gefälle in einer Abwandlungsreihe laufend verringern; doch sind ja auch dabei zwischen Ursprung und Mündung zahllose Kurven möglich. Da zudem das Profil dauernd umgeformt wird, könnte man in einer bestimmten Kurve bestenfalls einen Augenblickszustand, aber doch nie einen genetischen Vorgang festhalten. Wie stark man auch Täuschungen unterworfen sein kann, zeigte die Diskussion zu einem Vortrag von George in der Geological Society (18); dort wurde nachgewiesen, wie bereits die normale Fehlerstreuung bei der Instrumentenablesung bewirkt, daß man logarithmische Kurven erhält oder auch nicht, je nachdem man eben abliest. Verdoppeln können sich solche Fehler obendrein, weil bei den kleinen

Winkeln des Gefälles die Sinus- und Tangentenwerte ungenau sind.

Die deutsche Auffassung der Erosion wird im wesentlichen von den geistvollen Deduktionen Philippsons (23) beherrscht, die er noch heute verficht (24), obgleich seit ihrer ersten Formulierung zwei Menschenalter vergangen sind (22). Wenn wir uns mit ihnen ausführlicher beschäftigen, so berufen wir uns dabei auf die jüngst von ihm gebrauchte Formulierung: „Es steht selbstverständlich jedem Forscher und Lehrer frei, eine Theorie abzulehnen.“ (24. S. 211.)

Im vorhinein möchte ich betonen, daß es mir nicht auf die bereits mehrfach kritisierte Erosionsterminante ankommt. Ob sie nun existiert oder nicht (und wahrscheinlich existiert sie ebenso wie eine Denudationsterminante), ist für die Theorie von der Erosion und der Ausbildung des Flußlaufes mehr oder minder belanglos. Eine Terminante, die sich erst in astronomischen Zeiträumen verwirklichen kann (die geologischen Epochen sind zu ihrer Ausbildung wohl zu knapp bemessen), muß sozusagen als platonische Idee betrachtet werden. Wir wenden uns also nicht gegen die Terminante, sondern gegen Philippsons Erklärung des Erosionsvorganges. Nach seiner Erosionstheorie müßte sich in ariden Gebieten von jenem Punkt an, wo der Fluß Wasser zu verlieren beginnt, ein konvexes Gefälle ausbilden. Ich habe aber bei Vermessungen von Schuttkegeln, wo sich das Gefälle völlig unbeeinflußt von einer Erosionsbasis entwickeln konnte, konkave Längsprofile ausgedrückt gefunden (c). Wie Mortensen (16, 17) ausführte, gehört die Ausbildung von konvexen Gefällen im ariden Gebiet ebenso zu den Ausnahmen wie im humiden. Schon durch diese Feststellungen allein wird die These, daß sich das Gefälle im umgekehrten Verhältnis zur Wassermasse ausbilde, unhaltbar, obwohl sie seit Krayenhoff (11) und vornehmlich seit Philippson in den meisten deutschen und vielen fremdsprachigen Lehrbüchern der Geographie als unverrückbarer Grundsatz hingestellt wird.

Wir wollen nachstehend versuchen, in den einzelnen Prämissen die Fehler nachzuweisen, die notwendigerweise zu falschen Folgerungen führen. Dabei finden wir vorerst die Auffassung, daß die Leistungen des Flusses — Fließen, Transport gelöster Stoffe, Transport des Schwebs (Trübe), Transport der Gerölle (Schutt), Korrasion und Erosion — in der genannten Reihenfolge bemerkbar nur dann geleistet werden könnten, wenn „die vorhergenannten, weniger Kraft beanspruchenden Leistungen noch einen

Überschuß an Kraft lassen" (23. S. 122), um die in Frage kommende Arbeit durchzuführen. Philippson steht also auf dem übrigens nahezu allgemein verbreiteten Standpunkt, daß ein Fluß z. B. durch die Arbeitsleistung des Fließens sowie des Transportes von gelösten Stoffen, Schweb und Geröll, derart in Anspruch genommen sein kann, daß ihm für Erosion und Korrasion keine Kraft mehr zur Verfügung steht. Dieser traditionellen Auffassung, daß nur dort erodiert werden kann, wo der Transport noch eine Kraft für die Erosion übrig läßt, daß also auf Gleichgewichts- und Sedimentationsstrecken keine Erosion erfolgt, setzen wir die Tatsache entgegen, daß die Erosion, d. h. die Inbewegungsetzung einer festen Materie durch fließendes Wasser, allein durch die Wassergeschwindigkeit an der Sohle bestimmt wird. Nach unserer Auffassung folgt in einem normalen Flußlauf auf eine kurze Strecke „reiner Erosion", wo nur erodiert bzw. durch den Transport auch korradiert wird, die lange Strecke des „Erosionstransportes", wo gleichzeitig erodiert und sedimentiert wird. Diese Strecke kann noch in eine der „reinen Sedimentation" übergehen, wenn die Sohlengeschwindigkeit so absinkt, daß die abgelagerten, schwer erodierbaren Tone und Lehme, durch Kohäsion verfestigt, nicht in Bewegung gesetzt werden können. Auf der langen Strecke des Erosionstransportes hängt es vom Volumen der Ablagerungs- und der Erosionsgerölle ab (der Name erklärt wohl den Begriff zur Genüge. Siehe jedoch unten!), ob sich das Bett erhöht, eintieft oder gleichbleibt. Eine „Gleichgewichtsstrecke" entsteht also nicht dadurch, daß eine Erosion infolge von „Sättigung" des Flusses mit Geröll nicht mehr stattfinden kann, sondern vielmehr dadurch, daß das Volumen der zur Ablagerung kommenden Gerölle (Ablagerungsgerölle) dem durch die Erosion neu aufgenommener Gerölle (Erosionsgerölle) gleich ist. Eine „Sedimentstrecke" wird nach alter Auffassung daraus erklärt, daß die mit Geröllen „übersättigten" Flüsse nun ablagern, aber die Sedimentierung tritt ja auch auf Eintiefungsstrecken auf! Die Erhöhung des Bettes erklärt sich vielmehr damit, daß das Volumen der Ablagerungsgerölle das der Erosionsgerölle übertrifft. Flußabwärts wird der Geröllstrom bei abnehmender Sohlengeschwindigkeit immer uniformer und setzt sich zunehmend mehr aus kleinen Geröllen zusammen; deshalb stehen unterhalb immer mehr Ablagerungsgerölle zur Verfügung als oberhalb. Die alte Einteilung des Flußlaufes in Erosions-, Gleichgewichts- und Ablagerungsstrecken ist abzulehnen, weil sie morphologische Vorgänge, die in Wahrheit viel weitergreifen, schematisch begrenzt, was zu einer irrigen Erklärung des ganzen Erosionsprozesses führt.

Wir haben dies bereits anderwärts ausführlicher behandelt (b, c und d).

Nach dieser Stellungnahme zu der allgemeinen Auffassung wenden wir uns nun den speziellen Vorstellungen Philippsons zu, der drei Endgefälle der Flüsse unterscheidet (23, S. 154):

1. das der „Tiefenerosion", das am wenigsten flache Endgefälle, bei dem die Eintiefung des Bettes aufhört,

2. das mit „Transport einer gegebenen Menge Schutt" und

3. das „des Fließens ohne Schuttransport (das flachste)".

Aus der Annahme dieser drei Endgefälle erwächst als erste Schwierigkeit die Frage, wie sich 2 und 3 überhaupt verflachend entwickeln können, da doch die Tiefenerosion schon viel früher bei 1 aufgehört hat; denn eine Verflachung des Gefälles ohne Erosion oder Korrasion ist nicht vorstellbar. Desgleichen erscheint es als Widerspruch, wenn auf S. 153 gesagt wird, das Endgefälle sei „innerhalb endlicher Zeiträume nicht mehr veränderlich", wobei unter Endgefälle das unter 1 genannte zu verstehen ist, dann aber doch noch deren zwei weitere ausgeschieden werden. Unverständlich bleibt ferner die Behauptung, daß „so gut wie keine festen Stoffe mehr zu verfrachten sind", wenn „der Fluß sich in seinem ganzen Lauf dem Endstadium der Tiefenerosion" (das ist 1) nähert. Er muß ja noch das ganze Stadium 2 durchlaufen, das nach Philippson den Transport „einer gegebenen Menge Schutt" durchführt. Demnach kennen auch Philippsons Endstadien 1 und 2 einen Geröll- und Schwebtransport, der sich stromabwärts summieren muß. Es ist daher bei der Deduktion des Endgefälles wohl möglich, ein einheitliches Gestein, aber unmöglich, einen einheitlichen Widerstand vorauszusetzen, da dieser durch Größe und Menge des Gerölls und teilweise auch des Schwebs bestimmt wird. Damit ist es aber auch unmöglich, das Endgefälle 1 und 2 als nur von der Wassermasse abhängig zu erklären; denn die Sohlengeschwindigkeit des Flusses — die allein entscheidet, ob nun erodiert wird oder nicht — hängt nicht nur von der Wassermasse, sondern auch vom Transport ab.

Das Endgefälle, an jedem Punkt des Flußlaufes verschieden, bildet aneinandergereiht die Philippsonsche Terminante. Es sind die Endgefälle Nr. 1, die die Terminante zusammensetzen; denn Philippson sagt ausdrücklich auf S. 154: „Im folgenden verstehen wir unter Endgefälle nur das der Tiefenerosion." Dementsprechend sind auch noch aus den Endgefällen 2 und 3 Terminanten denkbar, wobei Nr. 3 die eigentlich endgültige bilden müßte und Nr. 1 und Nr. 2 statt Terminanten eher Entwicklungsstadien zu sein scheinen.

Nach Fig. 97 — Skizze 1 — entwickelt Philippson nun, „auf welche Weise die Tiefenerosion der Terminante zustrebt und wie diese den Erosionsvorgang reguliert“ (S. 157). Er nimmt an, daß ein Fluß mit talab zunehmender Wassermasse auf einer Pultscholle einheitlichen Gesteins herausgehoben wird. Er sagt zwar nicht direkt, daß die Scholle um das Scharnier M gehoben wurde, aber nach Zeichnung und Erklärung ist es nicht anders denkbar; denn sollte der Fluß von M bis U gleichmäßig mit einem Horst gehoben worden sein, so müßte die Erosionsbasis nicht in M zu suchen sein, sondern unterhalb, eben dort, wo sie vor der Hebung lag. Wenn Philippson nun behauptet, es könne auf der Strecke K bis U keine direkte Tiefenerosion erfolgen, weil die Strecke

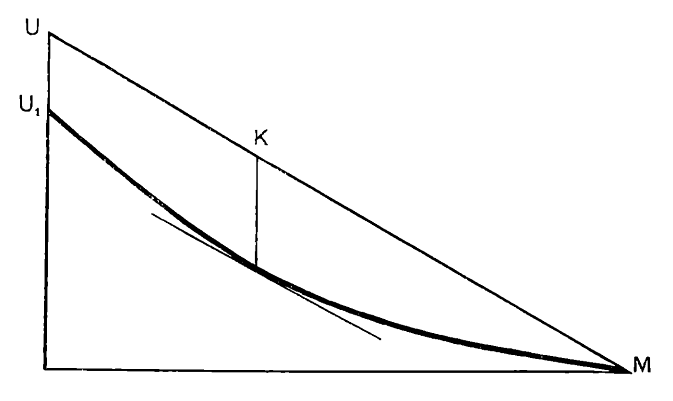


Abb. 1. Skizze nach Philippson.

UM = Flußlauf

U_1M = Terminante des Flußlaufes

flacher als die Terminante sei, so muß der Flußlauf auf K bis U wohl der Terminante Nr. 2 entsprechen und vor der Hebung wohl der Terminante Nr. 3 entsprochen haben, da er ja dann noch ein geringeres Gefälle hatte. Weil die Terminante Nr. 1 nach Philippson nur von der Wassermasse abhängt, kann sie sich vor und nach der Hebung nicht geändert haben. Wie kann jedoch ein im Endgefälle 2 oder gar 3 strömender Fluß überhaupt ein Bett formen, da dort doch die Tiefenerosion ausgeschlossen ist? Als morphologisch entscheidende Wassermasse gilt, wie richtig ausgeführt wird (S. 123 und 155), die der regelmäßigen Hochwasser, und wenn schon diese im Endgefälle Nr. 2 oder 3 fließen, so könnte nach der Theorie Philippsons das Niedrigwasser überhaupt nicht fließen.

Nehmen wir nun an, daß sich unter sonst gleichen Voraussetzungen auch die Wassermasse gleich verhalte! Philippson hat diesen Fall zwar nicht behandelt, doch läßt sich aus seinen Ausführungen über die Ausbildung der Endgefälle ableiten, daß die Terminante bei gleichbleibender Wassermasse gerade verlaufen würde. Sie müßte demnach, wenn die in K anzutreffende Wassermasse überall dieselbe bleibt, mit der Linie M bis U zusammenfallen und somit jede Tieferlegung unterbinden. Sie müßte sogar, wenn die angenommene Wassermasse noch kleiner wäre, noch steiler verlaufen, so daß der Fluß überhaupt nicht erodieren könnte. Ist er bei Hochwasser zu schwach, um auch nur kleinste Bestandteile zu bewegen, so kann man sich nicht vorstellen, wie er bei normalem Pegel überhaupt noch zu fließen vermag.

Unmißverständlich tritt das Unmögliche der Theorie zutage, wenn man eine sich veringernde Wassermasse annimmt, deren entsprechende Terminante Figur 95 zeigt. Legt man diese Linie der Figur 97 unter, so ergibt sich Skizze 2. Nach der Annahme Philippsons muß im ganzen Unterlauf vom Schnittpunkt der Terminante mit der Linie M bis U nicht nur Erosion unmöglich sein, sondern sogar Aufschotterung erfolgen. Dieser Punkt (M_1) zeigt gleichzeitig das Maximum der Wassermasse an; denn von da ab, wo der Fluß an Wasser zu verlieren beginnt, wird die Terminante nach Philippson wieder steiler. Wie aber erklärt es sich, daß dort, wo die größte Wassermasse anzutreffen ist, überhaupt keine Erosion stattfinden soll? Wir dürfen ferner annehmen, daß die Wassermassen in A_1 und A_2 gleich sind, doch darf uns die Theorie wohl kaum zumuten, zu glauben, daß in A_2 erodiert, in A_1 aber aufgeschottert wird. Selbst wenn man versucht, die Terminantensigmoide unterhalb des Ausgangsgefälles zu legen, ergeben sich an den gleichen Punkten entsprechende Unmöglichkeiten.

Philippson glaubt einen Beweis für die Richtigkeit seiner Auffassung darin zu sehen, daß „fast alle größeren Flüsse tatsächlich ein Gefälle haben, das einer solchen nach unten sich verflachenden Kurve sehr angenähert ist" (S. 157). Aber die Flüsse arider Gebiete — abgesehen von Ausnahmen, die auch in humiden Gebieten unter besonderen Umständen auftreten — kennen eine Profilentwicklung gemäß der „ariden Terminante" nicht, wodurch der Beweis hinfällig wird.

Da bei nichthomogenen Beispielen die Gefällsentwicklung nach den dargelegten Grundsätzen nicht abgeleitet werden kann, werden durch die Konstruktion von „vorläufigen Terminanten"

solche vierter und fünfter Ordnung geschaffen, was die Unklarheit vermehrt. Es ist völlig irrig, zu glauben, daß auf einer Strecke Gerölle deswegen abgelagert werden, weil „diese Stelle flacher ist als der zugehörige Teil der Terminante“ (S. 160), sondern es wird darum abgelagert, weil die Sohlengeschwindigkeit des Wassers die betreffende Größe der Gerölle nicht mehr tranportieren kann. Demnach bleiben gröbere Gerölle bei steilem und feinere bei flachem Gefälle liegen und können unter gleichen Bedingungen — ohne daß eine Terminante berücksichtigt wird — nach Abschliff wieder abtransportiert werden.

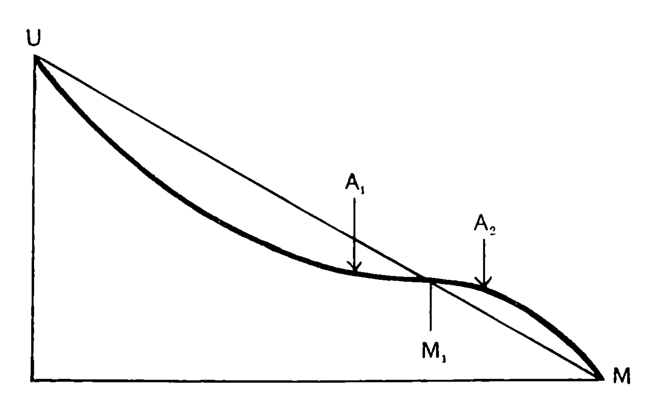


Abb. 2. Skizze nach Philippson.

S-Kurve = Terminante bei Wasserschwund
M_1 = Stelle der maximalen Wasserführung
A_1 und A_2 = Stellen gleicher Wasserführung

Es ist ferner unrichtig, zu glauben, daß „schuttfreie Abflüsse von Seen, Mooren, Karstquellen nicht erodieren, also (!) in oder unter ihrem Endgefälle fließen“ (S. 162). Daß an solchen Stellen die Erosionskraft nicht die entsprechende Arbeitsleistung verrichten kann, liegt in verschiedenen Umständen, nicht aber im Endgefälle begründet. Erstens bietet sich hier keine Möglichkeit zur Ausbildung einer Lesedecke, wie sie sonst den Flußlauf auszeichnet. Sie ist ja der Niederschlag von oft weit oberhalb herangebrachten Geröllen, die hier nach der Karstquelle, dem See oder dem Moor fehlen müssen, und so fließt das Wasser hier nicht selten über Anstehendes. Zweitens fehlt diesen Gewässern das feine Geröll mit seinem Sandschliff, das im See abgelagert oder im Moor gar nicht gebildet wurde, und so kann der Sohlenbelag nicht ab-

geschliffen und erodierbar gemacht, d. h. auf jene Korngröße verkleinert werden, die bei der entsprechenden Sohlengeschwindigkeit in Bewegung gesetzt würde. Die Flußsohle wird demnach im wesentlichen bloß chemisch bearbeitet, was normalerweise einen weit längeren Zeitraum beansprucht. Drittens zeichnen sich die Austritte aus Seen dadurch aus, daß die Wasserspiegel- und Wassergeschwindigkeitsschwankungen nicht in so starken Amplituden ausschlagen wie in den normalen Flußläufen. Kozeny (10) hat überzeugend nachgewiesen, daß am Ausgang des Sees nicht die gleichen Wassergeschwindigkeiten erzielt werden wie am Eingang. Deshalb kann die Erosionskraft am Ausgang a priori nicht die Stärke wie am Eingang erreichen. Endlich steht bei lebhaftem Wechsel der Bodengeschwindigkeiten eine dementsprechend große Serie von erodierbaren Geröllen zur Verfügung, bei geringem Wechsel jedoch eine entsprechend kleine Serie. Da nun der Abfluß eines Sees hinsichtlich seiner Wassergeschwindigkeiten weit weniger wechselt als der Zufluß, ergeben sich hinsichtlich der Intensität der Erosion auch hierin Unterschiede.

Wenn sich also an solchen Stellen die Tiefenerosion nicht ebenso rasch wie an anderen Stellen auswirken kann, so erklärt sich das nicht aus dem Endgefälle, sondern aus dem Mangel an erodierbarem Material bzw. aus der Schwierigkeit, solches zu gewinnen. An den meisten Stellen dürfte eingestreuter Sand ohne weiteres abtransportiert werden, womit sich also erweist, daß kleine Korngrößen durchaus erodierbar sind.

Es ist auch unmöglich, das Endgefälle bei gegebener Wassermasse als Grenzgeschwindigkeit aufzufasssen, d. h. als eine Sohlengeschwindigkeit, die das Geröll der Lesedecke nicht mehr in Bewegung setzen kann; denn sobald das Material abgeschliffen und verkleinert ist, sobald seine Umgebung sich verändert hat, der es überfahrende Geröllstrom seine Zusammensetzung wechselt oder die Wassertemperatur sich erhöht, erfordert das In-Bewegung-Setzen auch eine geringere Sohlengeschwindigkeit oder bei gleicher Wassermasse ein geringeres Gefälle. Wie bereits erwähnt, ist der Erosion erst dann ein Ziel gesetzt, wenn sich die Flußsohle mit Lehmen und Tonen belegt, die, gewöhnlich aus dem Niederschlag des Schwebs stammend, zum In-Bewegung-Setzen eine Sohlengeschwindigkeit verlangen, wie sie die Unterstrecken des Flußlaufes nicht mehr aufbringen können. Um also eine endgültige Terminante zu erreichen, müßten sich diese Verhältnisse des Unterlaufes über den ganzen Fluß erstrecken. Die Terminante könnte sich, wie schon A. Penck (19 und 20) ausgeführt hat, nur um ein geringes über die Horizontale erheben, keineswegs aber gemäß

Philippsons Annahme „einige Grade" steil werden; denn die dabei entwickelten Bodengeschwindigkeiten müßten immer zu einer Erosion führen.

Zusammenfassend wäre also zu sagen, daß die Auffassungen Philippsons über die Erosion als überholt zu gelten haben. Ganz abgesehen davon, daß die verschiedenen Endgefälle und Terminanten die Theorie verwirren, lassen sich Erosions- oder Aufschotterungsstrecken in einem Flußlängsprofil nicht damit erklären, daß man sie unterhalb bzw. oberhalb einer Terminante — Nr. 1! — verlaufen läßt. Selbstverständlich strebt jeder Fluß der Verflachung und damit einer endlichen Terminante zu; doch ob er aufschottert oder erodiert, ob er sein Bett erhöht oder eintieft, hängt nicht von der Terminante und auch nicht von seiner aktuellen Lage zur Terminante ab, sondern im wesentlichen von den Sohlengeschwindigkeiten und den Korngrößen der Gerölle. Nichts bezeugt besser den scharfen Geist Philippsons als die Tatsache, daß seine Auffassung in vieler Hinsicht Jahrzehnte hindurch in der Morphologie führend blieb. Indes haben sich die Erkenntnisse über die Vorgänge des fließenden Wassers seit 1886 besonders dank den Arbeiten der Techniker wesentlich erweitert, was zu einer Korrektur der klassischen Auffassung führen mußte.

Um zu der angloamerikanischen Auffassung Stellung zu nehmen, greifen wir auf die verdienstvolle Physical Geography von Ph. Lake zurück, von der soeben I. A. Steers u. a. eine zweite Auflage erscheinen ließen (14). Der Erosion wurde hier im VII. Kapitel ein dankenswert weiter Raum zugebilligt, wobei man das Transportproblem folgerichtig an den Anfang der Ausführungen stellte. Auch hier aber bewahrheitet sich der Ausspruch Rastalls, "that the result of the process (d. h. die Erkenntnisse der geomorphologischen Vorgänge im allgemeinen) has received more attention than the actual mechanism by which the results have been brought about. This applies more particularly to river erosion" (26, S. 39).

Um die "full loads" der Flüsse zu illustrieren, geht der Verfasser von der Annahme aus, daß eine Fracht gleichgroßer Gerölle über eine Lesedecke geführt wird, die sich aus denselben Größen zusammensetzt — eine in der Natur eigentlich unmögliche Erscheinung, da sich die transportierte Last, der Geröllstrom, und meist auch die Lesedecke aus verschiedenen Korngrößen zusammensetzen; doch darauf kommt es hier nicht an. Der Verfasser meint nun, daß bei einer "full load" des Flusses für jedes Geröll, das aus der Lesedecke erodiert und weiterbefördert wird, ein gleichgroßes aus dem Geröllstrom ausscheiden muß, weil der Fluß

eben nicht mehr zu befördern vermag ("because it already carries as much as it can" S. 317). Diese Auffassung ist jedoch in zweierlei Hinsicht nicht haltbar.

1. Um ein Geröll in Bewegung zu setzen, ist eine größere Kraft, d. h. Sohlengeschwindigkeit des Wassers, nötig, als um es zu transportieren. Diese alte Erkenntnis, wenn auch im gleichen Werk einige Seiten später niedergelegt, wurde nicht beachtet. Wird nämlich entsprechend jener Annahme ein Geröllstrom einheitlicher Korngröße über eine Lesedecke der gleichen Korngröße geführt, wobei ein Geröll in Bewegung gesetzt wird, so ist die Sohlengeschwindigkeit so groß, daß ein anderes Geröll gleicher Größe aus dem Geröllstrom gar nicht zur Ablagerung kommen könnte. Sinkt aber die Bodengeschwindigkeit so, daß Ablagerungen auftreten, dann ist sie wiederum zu schwach, um ein gleichgroßes Geröll in Bewegung zu setzen. Das ist keine Schulmeisterei! Der Kraftunterschied zwischen In-Bewegung-Setzen und In-Bewegung-Halten bedingt im wesentlichen die Transporterleichterung (c), und gerade diese ist der Schlüssel zum Problem der Erosion.

2. Auch der Begriff der "full load" verlangt eine Korrektur. Challinor, der auf wenigen Seiten viel neue Gedanken zur Erosionsfrage entwickelt hat (3), ohne sie freilich zu Ende zu führen, bemerkt sehr treffend, ein Fluß sei immer vollbeladen in dem Sinn, daß er ohne Verlust an Geschwindigkeit nicht noch mehr transportieren könne, und unterbeladen in dem Sinne, daß er stets noch kleinere Bestandteile aufnehmen kann. Es wäre besser, wenn die Auffassung, daß es mehr oder weniger beladene oder sogar überbeladene Flüsse gibt, endlich ad acta gelegt würde; denn sie war in ihrer weiten Verbreitung der Hauptgrund dafür, daß wir mit unseren Erkenntnissen über die Erosion nicht vorankamen. Es ist — in normalen Fällen — nicht zutreffend, daß ein Fluß in seiner Tragfähigkeit zu erschöpfen ist; denn er bleibt jederzeit bereit, noch kleinere Bestandteile aufzunehmen, wenngleich er damit seine Geschwindigkeit abbremst und damit größere Gerölle, wenn solche transportiert werden, sedimentiert. Es trifft auch nicht zu, daß sich ein Fluß je überladen läßt; denn immer sorgt er durch Abstoßung der jeweils schwersten Gerölle, daß die Belastung seiner Kraft entspricht.

Die Irrtümer, die sich aus diesem falschen In-Beziehung-Setzen zwischen Fluß und Last ergeben haben, zeigen sich in dem genannten Lehrbuch deutlich. Es wird dort nämlich behauptet, daß ein Fluß ohne Last nur wenig, ein Fluß mit voller Last dagegen nur entsprechend seiner Ablagerung erodieren könne und daher (!) das Optimum der Erosion bei mittlerer Belastung gefunden würde.

Hierbei sind die Prämissen unrichtig, ganz abgesehen davon, daß sie doch in keiner Weise die gezeigte Schlußfolgerung zulassen. Ein ohne Gerölle fließendes Wasser zeigt an, daß (wie auf S. 8 ausgeführt) sich die ihm innewohnende Kraft aus besonderen Gründen nicht betätigen kann, aber es belegt nicht die Annahme, daß es zur Erosion keine Kraft besäße. Im Gegenteil, weil das Wasser keine Gerölle führt, fließt es schneller und entwickelt dadurch eine größere potentielle Erosionskraft, die sich freilich nicht in Arbeitsleistung umzusetzen vermag. Strömte es nun über eine Sohle, die bei gleicher Neigung mit feinkörnigen Sedimenten bestreut ist, so würde es sofort erodieren und damit ein zwar verlangsamter, aber doch geröllführender Wasserlauf werden. Die Last an sich ist kein Kriterium dafür, ob ein Fluß Erosionskraft besitzt oder nicht. Sie weist uns höchstens darauf hin, daß ein beladener Fluß langsamer fließt als ein unbeladener unter sonst gleichen Bedingungen. Die Korrasion freilich — also die Schürfwirkung der im Fluß transportierten Last — hängt hochgradig von dem Transport der Gerölle ab, und es versteht sich, daß — wiederum gleiche Bedingungen vorausgesetzt — ein geröllführender Fluß stärker korradiert als einer mit „mittlerer Last“ im Sinne von L a k e oder gar ein unbeladener. Statt der Prämisse: „Ein Fluß ohne Last kann nur wenig erodieren“, müßte es heißen: „. . . hat nur wenig erodieren können.“ Denn im Erosionsprozeß ist die Last nicht Ursache, sondern Wirkung. Sie verursacht mit ihrem Charakter und mit der Geschwindigkeit ihrer Bewegung die Korrasion, aber nicht die Erosion.

Auch die zweite Prämisse, daß ein „vollbeladener“ Fluß nur entsprechend seiner Ablagerung erodieren könne, ist unhaltbar und wurde, wie ich erst nachträglich erfuhr, auch bereits durch K e s s e l i (30) bekämpft. Dieses Stadium, bei den Angloamerikanern “at grade” und bei uns gern Gleichgewicht benannt, soll sich durch mangelnde Tiefen- und vorherrschende Seitenerosion auszeichnen.

K e s s e l i hat darauf hingewiesen, daß die durch Seitenerosion bewegten Ufer viel voluminöser sind als die Ablagerungen an den Gleithängen, so daß also der „vollbeladene“ Fluß doch noch den Bilanzüberschuß abtransportieren muß. Zu weit geht er jedoch, wenn er sagt: „Gleichgewicht zwischen der Kraft eines Flusses und seiner Last ist weder bei Hoch- noch bei Niederwasser, weder in seiner gesamten Länge noch auf einigen Strecken, weder in der Jugend noch in der Reife noch im Alter“ (S. 587).

Ein Stadium des „Gleichgewichts“ oder des “at grade” muß an jenen Stellen im Längsprofil vorherrschen, wo sich der Über-

gang zwischen Eintiefung und Erhöhung vollzieht. Diese durch ein Verharren in der gleichen Höhe gekennzeichnete Strecke wahrt jedoch ihr „Gleichgewicht“ nicht deshalb, weil der „gesättigte“ Fluß keine Tiefenerosion leisten kann, sondern weil — wie bereits gesagt — dem Volumen der Ablagerungsgerölle das der Erosionsgerölle gleich ist, wobei natürlich jene feinen Bestandteile mitzurechnen sind, die direkt in den Schweb überführt werden.

Der Satz, daß ein Fluß mit „voller Last“ nur entsprechend seiner Ablagerung erodieren könne, ist also aus verschiedenen Gründen unrichtig. Erstens fließt ein Gewässer immer mit „voller Last“. Zwar gibt es Flüsse mit starker oder geringer Geröllführung und starker oder geringer Schwebkonzentration; doch werden bei sonst gleichen Voraussetzungen die stark beladenen weniger schnell fließen als die schwach beladenen, so daß die mehr oder minder große Geröllführung durch mehr oder minder große Geschwindigkeit ausgeglichen wird. Zum zweiten stellt die Last kein Kriterium für die Intensität der Erosion dar. Zum dritten findet man, wenn man die „volle Last“ nur auf den „Gleichgewichtszustand“, also auf Flußstrecken mit unveränderter Höhe der Sohle, bezieht, daß dort wohl nur im Ausmaß der Ablagerungen erodiert werden kann. V e r u r s a c h t wird dieses Gleichgewicht jedoch nicht durch die „volle Last“, sondern durch mannigfache Vorgänge und Zustände, vornehmlich durch die Sohlengeschwindigkeit des Wassers, die strukturelle Zusammensetzung des Geröllstromes und den Zustand der Sohle sowie ihres Belages.

Mit dieser Auffassung über die verschiedenen Belastungen des Flusses und ihren unmittelbaren Einfluß auf die Erosion — einer überraschenderweise zum „Gesetz“ erklärten Theorie — will das genannte Lehrbuch nun die bekannte Erscheinung deuten, daß in normalen Flußläufen die Erosion bei einem bestimmten Punkte ihr Maximum erreicht, während die Last noch weiter zunimmt, bis die Erosion ganz aufgehört hat. Auf irrigen Prämissen fußend, kann auch die Deutung nicht zutreffend sein. Gewiß führt der Fluß an der Stelle seiner maximalen Erosionsleistung nur “some intermediate load”, weil er ja die Last auf der ganzen Eintiefungsstrecke vermehren muß. Eine Maximalleistung erreicht er bloß deshalb, weil er hier — gleiche Verhältnisse vorausgesetzt — seine größte Sohlengeschwindigkeit entfalten kann. Die Last vermehrt sich über diesen Punkt hinaus noch immer um den vollen Erosionsbetrag. Eine Ausscheidung der jeweils schwersten Gerölle beginnt erst von da ab, wo die größten Materialstücke, die am Punkt der höchsten Bodengeschwindigkeit aufgenommen wurden, in diejenige Bodengeschwindigkeit hineingewandert sind, welche

die Grenze der Transportmöglichkeit darstellt. Wird also z. B. an der Stelle der maximalen Bodengeschwindigkeit von 190 cm/sec ein Geröll mit 20 mm Durchmesser erodiert, so wird es spätestens dann abgelagert, wenn es im sich verflachenden Längsprofil eine Stelle mit 120 cm/sec Sohlengeschwindigkeit, also die Grenze seiner Tragbarkeit, erreicht hat. Hier geht die Strecke der „reinen Erosion" in die des „Erosionstransportes" über. Nun vermehrt der Fluß seinen Geröllstrom nicht mehr um den vollen Betrag seiner Erosionsleistung, da sich ja die Last um die Ablagerungsgerölle vermindert. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß auf der Strecke des Erosionstransportes gleichzeitig abgelagert und erodiert wird.

Nach dem genannten Lehrbuch bildet sich das Gefälle nun folgendermaßen aus: Wenn die Last, mit der ein Fluß eine Strecke betritt, "is just the full load for the river in the reach", so wird weder erodiert noch abgelagert. Ist sie hingegen "more than this full load", so wird abgelagert. Und ist sie "somewhat less than the full load", so wird erodiert. Eine spezielle Stellungnahme erübrigt sich nach den gemachten Ausführungen, zumal auch, wie bereits ausgeführt (s. S. 10), die Annahme von gleicher Korngröße in Geröllstrom und Lesedecke nicht der Wirklichkeit entsprechen kann.

Setzt sich dagegen die Last des Flusses aus verschiedenen Korngrößen zusammen, so treten nach Auffassung unserer Autoren die Möglichkeiten ein, daß die Geschwindigkeit für den Transport unzulänglich oder ausreichend oder zu groß ist. Das Flußbett soll sich dabei im ersten Fall erhöhen, im zweiten nicht verändern und im dritten eintiefen. Es ist aber nicht einzusehen, warum die zum Transport einer Last ausreichende Geschwindigkeit des Wassers nicht auch die Sohle erodieren soll, um so mehr, als ja auch auf der ganzen Strecke des Erosionstransportes, wo die Geschwindigkeit offensichtlich n i c h t zum Befördern der Gesamtlast ausreicht, noch eine Erosion wirksam ist. Ist die Geschwindigkeit des Wassers zum Befördern zu groß — worunter wohl eine Steigerung des schnellen Fließens talab zu verstehen ist —, so wird gewiß ohne Sedimentierung erodiert; denn der in immer größere Geschwindigkeiten hineinwandernde Geröllstrom scheidet nun keine Bestandteile aus. Wie gesagt, beschränkt sich die Erosion jedoch nicht auf solche Strecken. Unrichtig sind ferner die Angaben von Text und Zeichnung, daß das Gefälle bei Aufschotterung versteilt und bei Erosion verflacht würde. Bleiben Ursprung und Mündung gleich, so begleitet jeden der genannten Prozesse eine d o p p e l t e Gefällsveränderung, nämlich sowohl eine Versteilung als auch eine

Verflachung. Zu dieser Selbstverständlichkeit erübrigt sich jedes weitere Wort.

Wenn wir einem so verdienstvollen Werk vielerlei Vorhalte machen und öfter den schlafenden Homer wecken mußten, so ergeben sich die Fehlschlüsse eben aus einer nicht haltbaren Theorie der Erosion. Das zeigt sich auch in der Erklärung der "curve of water-erosion". Mit Philippson nimmt sie flußabwärts eine Steigerung der Wassermasse und dementsprechend auch der Erosionskraft an. Zum Unterschied von ihm aber wird erklärt, daß

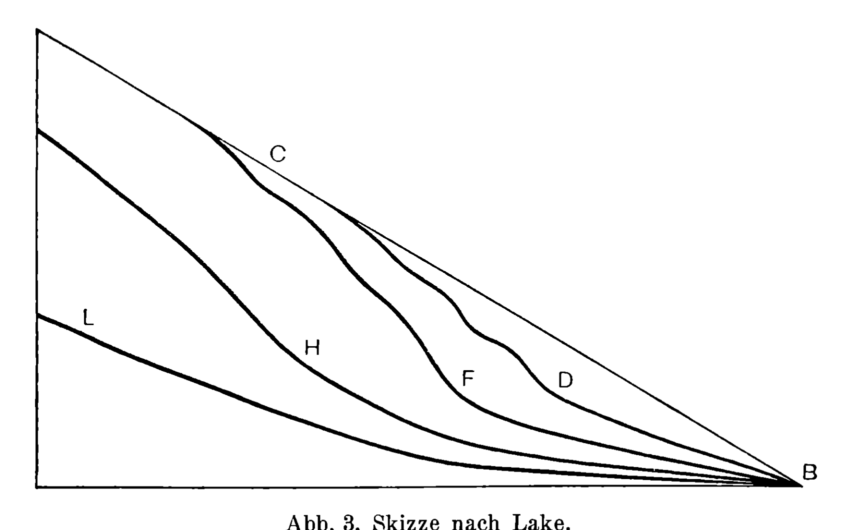


Abb. 3. Skizze nach Lake.

Aus dem Fluß CB entwickelt sich CDB, dann das Profil bei F, H und L. Die konkaven Profilstrecken sind DB, FB, HB und LB.

sich vom Punkte maximaler Erosionskraft an das Gefälle flußaufwärts versteilt und flußabwärts verflacht. Diese Auffassung geht auf Challinor (3) und Bain (1) zurück. Sie stützt sich auf die Überlegung, daß die Erosionskräfte, je weiter talab, mit zunehmender Wassermasse erstarken müssen und daher auch zunehmend mehr eintiefen können, wodurch sich naturgemäß eine konvexe Gefällslinie entwickelt. Diese soll sich dann unter dem Einfluß der Erosionsbasis nahe der Mündung konkav umgestalten. Bei rückschreitender Erosion breite sich dieses konkave Gefälle talauf aus und verzehre dabei das konvexe Gefälle. Freilich wird die konvexe Form der oberen Hälfte des Flußprofils nach unserem Lehrbuch durch die Formulierung „perhaps sligthly convex upwards in the

first instance“ und in der Zeichnung durch eine gewellte Linie gemildert, deren Zickzack nach Angaben der Verfasser Stufen des Gefälles infolge von „Schichtenlagerung“ wiedergeben soll. Da diese Stufen aber immer nur auftreten, wenn gemäß der angenommenen Entwicklung ein konvexes Gefälle zu erwarten ist, das sich aber schwer in die erstrebte konkave Linienführung umzeichnen läßt, erscheinen diese Stufen eher als ein Konstruktionsbehelf, um das Überführen konvexer Linien in konkave zu erleichtern. Die konvexen Gefälle werden auch dadurch leichter aus der Welt geschafft und in konkave umgeführt, daß das Ursprungsgebiet weit zurückgelegt und damit zerdehnt wird (Skizze 3). Ohne solche Behelfe der Konstruktion ist es wohl kaum möglich, die genetische Entwicklung des Flußlängsprofils entsprechend der Auffassung der genannten Autoren zeichnerisch darzustellen.

Ganz abgesehen davon und von der oft recht zwangsweisen Motivierung bietet die Auffassung verschiedene Angriffspunkte:

1. Gefällslinien in S-Form (also konvex im Oberlauf und konkav im Unterlauf) treten, soweit ich unterrichtet bin, nur selten auf und dann offensichtlich als Ausdruck besonderer Gesteinsunterschiede, tektonischer Verhältnisse usw.

2. Da auf diesen konkaven Strecken das “at grade”-Stadium erreicht sein soll, müßte ja bei allen konkaven Gefällen die Tiefenerosion mehr oder weniger aufgehört haben.

3. Flußstrecken mit gleichbleibender Wassermasse könnten sich nur in Parallelen eintiefen — ein unvorstellbarer Vorgang.

4. Die Flüsse der ariden Gebiete mit abnehmender Wassermasse müßten ein viel stärker konkav durchgebogenes Profil zeigen als die der humiden. In Wahrheit aber verhält es sich umgekehrt. —

Wenden wir uns nun den technischen Erklärungen zu! Hier ist vor allem Sternberg (28) zu nennen, der 1875 den Abrieb der Gerölle mit der Gefällsausbildung in Verbindung brachte. Nachdem Forchheimer (4) diese Theorie 1914 aufgegriffen und weiter ausgeführt hatte, ist sie heute zur vorherrschenden Auffassung der Wasserbautechniker geworden. Putzinger (25) widmet dem Grundgedanken, daß die Größenabnahme der Gerölle primär die Gefällsausbildung beeinflusse, eine besondere Studie.

Sein Gedankengang ist dabei so: Wird in einem geradlinig verlaufenden Fluß ein Geröll derart bewegt, daß sich jeweils der Kraftzuwachs des Wassers und der Reibungswiderstand einander die Waage halten, so kann dieses Gleichgewicht nur bei unveränderter Geröllgröße bestehen bleiben. Da sich das Material aber durch Abrieb verkleinert, muß der Fluß um der Wahrung des Gleichge-

wichtes willen danach streben, den durch Ausfall an Geröllslast resultierenden Kraftüberschuß durch eine Verlängerung des „Geschiebeweges (Ausuferung)“ zu verbrauchen. „Die aufeinanderfolgenden Wege, die einem gleichen Höhenunterschied entsprechen, müßten daher immer länger werden“ (S. 262). Darunter ist wohl zu verstehen, daß die Flußstrecke durch Aufschotterung verlängert werden soll; denn es heißt weiter: „. . . dies ergibt eine Linie, deren Neigung ständig abnimmt, also das konkave Flußprofil.“

Ich kann mir nicht vorstellen, daß Putzinger diesen Vorgang als genetische Erklärung auffaßt; denn sonst müßten ja alle Flüsse auf Massen von Schottern dahinziehen. Jedoch der erreichte Zustand, das konkave Profil — gleichviel wie es nun entstanden sein mag —, bringt nach Putzinger eine Alternative: Neigt sich das Gefälle stärker, als es der Reibungswiderstand der Gerölle erfordert, so wird erodiert; neigt es sich aber weniger, so wird abgelagert. Wenn dann durch Erosion oder Schotterung alle Unregelmäßigkeiten beseitigt worden sind, so resultiert das „Ausgleichsgefälle“, das vornehmlich im Flachland auftreten soll. Durch eine mathematische Ableitung der Wechselbeziehungen zwischen Geröllgröße, Kraft und Gefälle findet Putzinger, daß sich die Schleppkräfte an verschiedenen Punkten (S und S_0) so wie die durch Abrieb unterschiedlich groß gewordenen Gerölle (d und d_0) verhalten müssen ($S : S_0 = d : d_0$).

Nehmen wir, ohne auf das Genetische einzugehen, zu der Auffassung Putzingers Stellung, so finden wir seine Alternative nicht anwendbar auf die Strecke des „Erosionstransportes“, diese weitaus längste des Normalflusses, wo zugleich erodiert und abgelagert wird, und allenfalls anwendbar auf die oberste Flußstrecke, die der „reinen Erosion“, da hier unter Umständen (Sinken des Wasserspiegels) vorübergehend und stellenweise geschottert wird, wie wir an anderem Ort ausführten (b).

Das Ausgleichsgefälle muß nach den Angaben Putzingers so beschaffen sein, daß ein einmal in Bewegung gesetztes Geröll nicht mehr zur Ruhe kommt, bis es völlig zerrieben oder auf der Erosionsbasis angelangt ist. In der Natur tritt dies Phänomen freilich nur zeitbedingt und als Ausnahme auf. Jeden Fluß kennzeichnet an seinem Boden entweder das Anstehende oder die Lesedecke, die freilich in der Zone reiner Erosion nur brüchig und stellenweise ausgedrückt ist. Ohne hier auf die Lesedecke eingehen zu können, der eine besondere Studie gewidmet ist (d), sehen wir doch in ihrer Existenz einen Beleg dafür, daß die Gerölle in Etappen transportiert werden; denn wäre das nicht der Fall, so gäbe es eben keine Lesedecke. Die regelmäßige Sedimentierung auf der Strecke des Ero-

sionstransportes beweist, daß das Gefälle hier flacher ist, als es der Abrieb der Gerölle verlangt, d. h. daß die Schleppkraft stärker nachläßt, als der Abrieb die Gerölle verkleinert. Auf der Strecke der „reinen Erosion" ist das anders; denn hier kann sich, wenn wir das durchschnittliche Hochwasser als die für Form und Gefälle äquivalente Wassermasse betrachten, zu dieser Zeit keine Lesedecke ausbilden. Freilich bildet das noch keinen Beweis dafür, daß sich der Abrieb proportional zur Verringerung der Schleppkraft vollzieht. Eher das Gegenteil! Besonders größere Gerölle haben einen weiten Spielraum zwischen den Grenzgeschwindigkeiten für In-Bewegung-Setzen und In-Bewegung-Halten. Wenn sich also ein Geröll von 20 mm Durchmesser bei der Sohlengeschwindigkeit von etwa 190 cm/sec in Bewegung setzt, so erreicht es ohne Abrieb, also bei gleicher Schwere, die begrenzende Transportgeschwindigkeit erst bei etwa 120 cm/sec (siehe dazu Skizze in b). Da sich aber bekanntlich der Abrieb mit der Wanderstrecke steigert, bedeutet die Ablagerung des Gerölls auf der Strecke des Erosionstransportes, daß auf jeden Fall die Sohlengeschwindigkeit, dieser Hauptfaktor der Schleppkraft, wesentlich stärker als in der Proportion zum Abrieb gesunken ist.

Dazu kommt noch, wie Krumbein (13) in Besprechung der verschiedenen älteren und der eigenen Versuche zur Feststellung des Abriebs erkannte, daß ein Geröllstück sich in den ersten drei miles durch Abrieb sehr stark und später weniger intensiv verkleinert. Als Beleg des konkaven Profils kann das jedoch nicht dienen, weil besonders geröllreiche Flüsse, in denen also der Abrieb stark ausgeprägt ist, sehr gestreckte Profile aufzuweisen pflegen.

Nachdem schon Fugger und Kastner (5) in der Geographischen Gesellschaft in Wien das Gefälle als eine Funktion der Geröllgröße und diese als eine Funktion der zurückgelegten Strecke erklärt hatten, legte letzthin auch Mortensen (16, 17), besonders auf Kreuter (12) hinweisend, den Geographen die Gedanken der Wasserbauer nahe. Es wird behauptet, daß sich das Gefälle entsprechend der Korngröße aufbaue, grobes Geröll verlange ein steiles und feines ein flaches Gefälle.

Unserer Auffassung nach, die wir auch bei Philippson bestätigt finden (22, 23, 24), handelt es sich hier durch Verwechslung von Ursache und Wirkung um einen Trugschluß. Die Lesedecke zeigt uns die Grenzgeschwindigkeit an. An den Korngrößen der Sedimente lassen sich Rückschlüsse auf die Sohlengeschwindigkeit ziehen, bei der die Gerölle abgelagert wurden. Ein Längsschnitt der Lesedecke vermittelt demnach die Ablagerungsgerölle, deren Dar-

stellung nun in Art der Mischungsbänder Schaffernaks (27) oder in Reihen von Durchschnittsgrößen erfolgen kann. Immer erhalten wir aber dabei Resultate der Transportgeschwindigkeit, und das bedeutet Sedimentierung als Folge, aber nicht als Ursache des Gefälles. Welches Profil sollte sich denn ausbilden, wenn der Fluß über Anstehendes fließt und dadurch der Einfluß der Lesedecke entfällt? Nun heißt es ferner bei Kreuter — Mortensen, der Fluß strebe jenes Gefälle an, bei dem er das vorhandene und angelieferte Geröll optimal abtransportieren kann. Das würde jedoch bedeuten, daß er sein Gefälle auf der ganzen Strecke des Erosionstransportes versteilen müßte, um die großen Ablagerungsgerölle in der Lesedecke abtransportieren zu können. Bekanntlich ist aber gerade das Gegenteil der Fall: dort, wo eine Lesedecke vorhanden ist, verflacht sich das Gefälle. Unserer Auffassung nach ist es unrichtig, zu formulieren, daß die Ausgleichskurve (eine Art Normalprofil) deshalb wesentlich gestreckter ist, weil zwischen Ober- und Unterlauf ein nur geringer Unterschied in der Korngröße herrscht, sondern man müßte umgekehrt sagen, daß sich die Korngrößen der Gerölle deshalb so wenig unterscheiden, weil das Gefällsprofil gestreckt ist.

Somit ergibt sich, daß die vorgetragenen Anschauungen keine Erklärung des Flußlängsprofils bringen können. Eine weitere Abhandlung soll unsere eigene Auffassung darlegen, die, wie wir glauben, dieses alte Problem einer Lösung zuführt; in dem erwähnten Vortrag wurde sie bereits kurz wiedergegeben.

Literaturverzeichnis.

1. Bain, H. F., Relation of the Wisconsin and Kansan Drift Sheets in Central Iova and Related Phenomena, p. 449—458. Analysis of Erosion Curves, Iova. Geol. Survey VI, 433—476.
2. Birot, P., Essai sur quelques problèmes de morphologie générale, Instituto Para a Alta Cultura Centra de estudos geograficas. Lissabon 1949, 1—17.
3. Challinor, I., The curve of stream erosion. Geolog. Mag. London 1930, 67, 61—67.
4. Forchheimer, Ph., Hydraulik. Leipzig und Berlin 1930, 3. Aufl.
5. Fugger, E., und Kastner, A., Die Geschichte der Salzach. Geogr. Ges. Wien 1895.
6. Hess, O., Normalkurve und Erosionsterminante. Vjschr. Naturf. Ges. Zürich LXXVI, 1931, 420—434.
7. Hjulström, F., Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the River Fyris. Bull. of the Geolog. Institution of the Univ. Upsala, Bd. 25, Upsala 1935/36.
8. Iavanovic, P. S., Les profils fluviatiles en long. Paris 1940.
9. Jones, O T., The upper Towy Drainage System. Quart. Journ. Geolog. Soc. LXXX, 1924, S. 568.

10. Kozeny, Jos., Die Wasserführung der Flüsse (mit besonderer Berücksichtigung der turbulenten Strömung). Leipzig und Wien 1920.
11. Krayenhoff, C. R. T., Recueil des observations hydrographiques et topographiques fontes en Hollande. Amsterdam 1813.
12. Kreuter, F., Der Flußbau. Handb. d. Ing. Wiss., 3. T., Bd. VI, 1921.
13. Krumbein, W. C., The effects of abrasion on the rice shape and roundness of rock fragments. Journ. of Geol., Bd. 49, 1941, 482—520.
14. Lake, Ph., Physical Geography. 2. ed., Cambridge 1949.
15. Mackensen, H., Zur Theorie der Flußerosion. Göttinger Geogr. Einzelstudien, H. 3, 1942.
16. Mortensen, H., Zur Theorie der Flußerosion. Göttinger Geogr. Einzelstudien, H. 3, 1942.
17. — Erwiderung zur Theorie der Flußerosion. Erdkunde, Bd. 1, Bonn 1947, S. 213.
18. George, Neville, The development of the Towy and upper Usk drainage pattern. Quart. Journ. Geolog. Soc. London, XCVIII, S. 89 bis 128, 1942.
19. Penck, A., Das Endziel der Erosion und Denudation. Verh. d. Geogr., T. 8, Berlin 1889.
20. — Zur Morphologie der Erdoberfläche. 2. Bd., Leipzig 1894, S. 134 ff.
21. Penck, W., Die morphologische Analyse. Stuttgart 1925.
22. Philippson, A., Ein Beitrag zur Erosionstheorie. PM. 32, 1886, 67—79.
23. — Grundzüge der allgemeinen Geographie. 2. Bd., Leipzig, 2. Aufl., 1931.
24. — Zur Theorie der Flußerosion. Erdkunde I, 1947.
25. Putzinger, J., Das Ausgleichsgefälle geschiebeführender Gewässer. Wasserwirtschaft 1. Jg., 262—265, 285—287, 303—310, Wien 1920.
26. Rastall, R. H., Rainfall, Rivers and Erosion. Geolog. Mag., Bd. 81, 1944, S. 39—44.
27. Schaffernak, F., Ein Beitrag zur Morphologie des Flußbettes. Mitt. d. hydrogr. Inst. d. T. H. in Wien, 2. Folge, Wien 1929.
28. Sternberg, H., Über Längen- und Querprofil geschiebeführender Flüsse. Z. f. Bauwesen XXV, Berlin 1875, S. 483—506.
29. Stiny, J., Zur Erosionstheorie. Mitt. naturw. Ver. Steiermark 1910.
30. Kesseli, J. E., The concept of the graded river. J. of Geology, 49. Bd., 1941, S. 561—588.